

SKRIPSI
ANALISIS POTENSI LIKUIFAKSI DENGAN METODE
PROBABILITAS SEDERHANA BERDASARKAN DATA
***CONE PENETRATION TEST* DI KELURAHAN LEMPUING,**
KOTA BENGKULU

Diajukan untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan
Pendidikan tingkat sarjana (S-1)



Oleh:

ANGGUN MONALISA
NPM. G1B009003

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BENGKULU
2014

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Dengan ini saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul:

ANALISIS POTENSI LIKUIFAKSI DENGAN METODE PROBABILITAS SEDERHANA BERDASARKAN DATA CONE PENETRATION TEST DI KELURAHAN LEMPUING, KOTA BENGKULU

Sejauh yang saya ketahui bukan merupakan hasil duplikasi dari skripsi dan/atau karya ilmiah lainnya yang pernah dipublikasikan dan/atau pernah dipergunakan untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di Perguruan Tinggi atau instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Bengkulu, Juni 2014



Anggun Monalisa

G1B009003



MOTTO :

- ❖ *Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya (QS Al Baqarah: 286)*
- ❖ *Boleh jadi kamu membenci sesuatu, padahal ia amat baik bagimu, dan boleh jadi (pula) kamu menyukai sesuatu, padahal ia amat buruk bagimu; Allah mengetahui, sedang kamu tidak mengetahui (QS. Al Baqarah 2:216)*
- ❖ *Raihlah ilmu, dan untuk meraih ilmu belajarlah untuk tenang dan sabar (Khalifah 'Umar)*
- ❖ *Kecintaan kepada Allah melingkupi hati, kecintaan ini membimbing hati dan bahkan merambah ke segala hal (Imam Al Ghazali)*
- ❖ *Kegagalan hanya terjadi bila kita menyerah (Anggun Monalisa)*

PERSEMBAHAN :

Ya allah

Syukur alhamdulillah terima kasih atas nikmat dan rahmat-mu yang agung ini, dalam sebuah perjalanan panjang dan gelap...telah kau berikan secercah cahaya terang. Meskipun hari esok penuh teka-teki dan tanda tanya yang aku sendiri belum tahu pasti jawabannya.

Syukur alhamdulillah.....

Dengan memanjatkan rasa syukur kehadiran Allah SWT serta shalawat beriring salam kepada Nabi Besar Muhammad SAW. Ku persembahkan sebuah karya kecil ini kepada :

- ❖ *Agama Islam, bangsa dan negara serta almamaterku Universitas Bengkulu.*
- ❖ *Ayahanda (Firdaus), ibunda (Septi Yuniar), adikku (Alan dan Ipal) yang aku cintai, yang telah memberikanku semangat serta dukungan baik moril, materiil dan spirituil dalam mencapai cita-citaku.*
- ❖ *Sahabat-sahabatku di Sipil 09 (NIKSINOLAN) yang memberikan bantuan baik moril maupun materiil yang takkan ternilai oleh materi sebanyak apapun, semoga Allah memberikanku kemampuan untuk membalas segala kebaikan kalian.*
- ❖ *Adik-adik sipil angkatan 010, 011, 012 dan 013 terima kasih telah membantu semoga Allah swt membalas segala kebaikan kalian.*
- ❖ *Sahabat-sahabatku (selvi, elvi, ruth, rendesty, agung, wiwik, sari dan ongky) terima kasih telah turut andil membantu skripsi ini dan memberikan motivasi kepadaku.*

- ❖ *Sahabat-sahabatku di kosan (Dora,dian,lina,ica dan sari)*
- ❖ *Keluarga besar Teknik Sipil*

KATA PENGANTAR



Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakaatuh

Alhamdulillah, Puji syukur penyusun ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penyusun dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Analisis Potensi Likuifaksi dengan Metode Probabilitas sederhana Berdasarkan Data *Cone Penetration Test* di Kelurahan Lempuing Kota Bengkulu”**. Skripsi ini merupakan bagian dari penelitian Misliniyati,dkk dan salah satu syarat untuk menyelesaikan masa perkuliahan di Program Studi Strata Satu (S1) Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Bengkulu.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah memberikan bantuan, motivasi, dan bimbingan serta fasilitas-fasilitas selama penyusunan skripsi ini. Penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Bapak Khairul Amri, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Bengkulu.
2. Ibu Fepy Supriani, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Bengkulu. dan dosen pembimbing akademik yang telah banyak memberikan bimbingan dalam proses perkuliahan.
3. Ibu Rena Misliniyati, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing utama yang telah banyak memberikan bimbingan, saran, dan arahan dalam penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Agustin Gunawan, S.T., M.Eng., selaku dosen pembimbing pendamping yang telah banyak memberikan saran dan motivasi dalam penyusunan skripsi ini.
5. Ir.Mawardi, M.T., Gs., selaku Dosen Penguji yang telah banyak memberikan saran, kritikan, dan motivasi dalam penulisan skripsi ini.
6. Bapak Samsul Bahri, S.T., M.T., selaku dosen penguji yang banyak memberikan masukan dan saran dalam penyusunan skripsi ini.

7. Ibu Yovika Sari, A.Md., selaku staf di Program Studi Teknik Sipil yang telah membantu dalam segala hal hingga skripsi ini dapat diselesaikan.
8. Keluargaku tercinta, ibu, ayah, dan adik-adikku yang telah membantu baik doa, moral dan material dalam menjalani kuliah, dan dalam penyusunan skripsi ini.
9. Teman-teman Program Studi Teknik Sipil Universitas Bengkulu, terutama Teknik Sipil Angkatan 2009 (Niksinolan), dan semua pihak yang telah memberikan bantuan, masukan, dan informasi dalam penyelesaian skripsi ini.

Kritik dan saran pembaca sangat penulis harapkan untuk menjadi dorongan dan motivasi bagi penulis, juga untuk kesempurnaan hasil penelitian yang akan dilakukan. Semoga skripsi ini nantinya dapat bermanfaat bagi kita semua.

Wassalamualaikum wr.wb

Bengkulu, Juni 2014

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
MOTTO	iv
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR ISTILAH	xv
DAFTAR NOTASI	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
INTISARI	xix
ABSTRACT	xx

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	I - 1
1.2 Rumusan Masalah	I - 2
1.3 Tujuan Penelitian.....	I - 2
1.4 Manfaat Penelitian.....	I - 3
1.5 Batasan Masalah.....	I - 3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gempa Bumi	II - 1
2.1.1 Riwayat Kegempaan Bengkulu	II - 1
2.2 Likuifaksi	II - 2
2.3 Kerangka Analisis Korelasi untuk Mengetahui Analisis Potensi Likuifaksi	II - 3
2.3.1 Perhitungan Tekanan Siklik yang Diinduksi oleh Gempa Bumi	II - 3
2.3.2 Penyelidikan Lapangan untuk Mengevaluasi Potensi Likuifaksi Berupa Data CPT	II - 6
2.3.3 Korelasi <i>Overburden</i> pada Tes Lapangan	II - 7

2.3.4	<i>Magnitude Scalling Factor (MSF)</i>	II – 8
2.3.5	<i>Overburden Correction Factor, $K\sigma$</i>	II – 8
2.3.6	Korelasi CPT dengan CRR pada Tanah Pasir	II – 9
2.3.7	Perambatan Gelombang Gempa dari Batuan Dasar ke Permukaan	II – 10
2.3.8	Faktor Amplifikasi	II – 11
2.3.9	Penentuan Nilai Percepatan Gempa di Permukaan Tanah	II – 12
2.4	Evaluasi dengan Model Probabilitas	II - 12
2.4.1	Evaluasi dengan Model Probabilitas Haldar dan Tang (1979)	II - 13
2.4.2	Evaluasi dengan Model Probabilitas Chern dan Fu (1986)	II - 14
2.4.3	Evaluasi dengan Model Probabilitas Kavananzjian et.al (1983)	II - 15
2.5	Hasil Penelitian Terkait	II - 16
2.5.1	Penelitian Arifin (2002)	II - 10
2.5.2	Penelitian Misliniyati dkk,. (2013)	II - 16

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Gambaran Umum Penelitian	III - 1
3.2	Lokasi Penelitian	III - 1
3.3	Pengambilan Data Penelitian	III - 1
3.4	Analisis Pengolahan data	III - 2
3.4.1	Penentuan Jenis Tanah di setiap Lapisan	III - 2
3.4.2	Perhitungan Nilai <i>Cyclic Stress Ratio (CSR)</i> setiap Lapisan Tanah	III - 2
3.4.3	Perhitungan Nilai <i>Cyclic Resistance Ratio (CRR)</i> setiap Lapisan Tanah	III - 2
3.4.4	Perhitungan Probabilitas Likuifaksi	III – 3
3.4.5	Analisis Hubungan Parameter Tanah dan Parameter Gempa terhadap Probabilitas Likuifaksi	III - 3
3.5	Bagan Alir Penelitian	III - 4

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Umum	IV - 1
4.2 Lokasi Penelitian.....	IV - 2
4.3 Data Tes Lapangan CPT (Sondir).....	IV - 2
4.4 Penentuan Jenis Tanah di setiap Lapisan	IV - 4
4.5 Perhitungan Nilai <i>Cyclic Stress Ratio</i> (CSR) setiap Lapisan Tanah.....	IV – 5
4.5.1 Perhitungan Nilai Tekanan Vertikal Total (σ_{vc}) dan Tekanan vertikal efektif tanah (σ'_{vc}) setiap Lapisan Tanah	IV – 5
4.5.2 <i>Shear Wave Velocity</i> (V_s) setiap Lapisan Tanah.....	IV – 5
4.5.3 Faktor Amplifikasi	IV – 6
4.5.4 Perhitungan Nilai Koefisien Reduksi Tekanan Geser (r_d) setiap Lapisan Tanah.....	IV - 6
4.5.5 Hasil Perhitungan Nilai <i>Cyclic Stress Ratio</i> (CSR)	IV - 7
4.6 Menghitung Nilai <i>Cyclic Resistance Ratio</i> (CRR) setiap lapisan tanah	IV – 8
4.6.1 Menghitung Nilai q_{c1} setiap Lapisan Tanah.....	IV – 8
4.6.2 Menghitung Nilai q_{c1cs} setiap Lapisan Tanah	IV – 9
4.6.3 Menghitung Nilai CRR $M=7,5; \sigma'_{VC}=1 \text{ atm}$ setiap Lapisan Tanah	IV - 10
4.6.4 Menghitung Nilai <i>Magnitude Scalling Factor</i> (MSF).....	IV – 10
4.6.5 Menghitung Nilai <i>Overburden Correction Factor</i> (K_o) setiap Lapisan Tanah	IV – 10
4.6.6 Hasil Perhitungan Nilai CRR setiap Lapisan Tanah	IV - 11
4.7 Koefisien Variansi <i>Shear Stress Ratio</i>	IV - 12
4.7.1 Pengaruh Model Persamaan	IV - 12
4.7.2 Pengaruh Percepatan Gempa Maksimum.....	IV – 12

4.7.3 Pengaruh Tekanan Total Tanah	IV – 13
4.7.4 Pengaruh Tekanan Efektif Tanah.....	IV – 13
4.7.5 Pengaruh Faktor Reduksi Fleksibilitas Tanah.....	IV – 13
4.7.6 Koefisien Variansi <i>Shear Strength Ratio</i>	IV – 14
4.7.7 Pengaruh Model Persamaan.....	IV – 15
4.7.8 Pengaruh <i>Cyclic Shear Strenght</i> $M_w=7,5$ q_{c1cs}	IV – 15
4.7.9 Pengaruh Magnitude Gempa tidak sama dengan 7,5	IV – 16
4.7.10 Pengaruh Tekanan Efektif Overburden.....	IV – 17
4.8 Probabilitas Likuifaksi	IV – 18
4.9 Pembahasan hasil Analisis	IV – 18
4.9.1 <i>Cyclic Shear Strenght Ratio</i> dan <i>Cyclic Shear Stress</i> <i>Ratio</i>	IV – 19
4.9.2 Koefisien Variansi	IV – 20
4.9.3 Pengaruh <i>Peak Base Acceleration</i> , PBA	IV – 22
4.9.4 Pengaruh Nilai CPT	IV – 23
4.9.5 Pengaruh Kecepatan Geser	IV – 23
4.9.6 Peta Potensi Likuifaksi.....	IV – 2

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	V - 1
5.2 Saran	V - 2

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Klasifikasi <i>site</i> didasarkan atas korelasi penyelidikan tanah lapangan dan laboratorium (SNI-2002, UBC-97, IBC-2009, ASCE 7-10)	II - 11
Tabel 2.2	Faktor Amplifikasi (ASCE 7-10)	II - 12
Tabel 4.1	Jenis Tanah di setiap Kedalaman pada titik 3	IV - 4
Tabel 4.2	Skema hasil analisis perhitungan koefisien variansi CSR dengan $PBA=0,4$ g dengan data tanah pada titik 3	IV - 14
Tabel 4.3	Skema hasil analisis perhitungan koefisien variansi CRR dengan data tanah pada titik 3	IV - 18
Tabel 4.4	Skema hasil perhitungan besarnya probabilitas likuifaksi di setiap kedalaman dengan $PBA = 0,4$ g pada titik 3.....	IV - 19

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Peta lempeng tektonik	II - 2
Gambar 2.2	Tekanan siklik pada elemen tanah di bawah permukaan tanah ketika terjadi guncangan horizontal	II - 3
Gambar 2.3	Skema untuk penentuan tekanan geser maksimum, τ_{max} , dan koefisien reduksi tekanan geser, r_d	II - 4
Gambar 2.4	Variasi dan koefisien reduksi tekanan r_d dengan kedalaman dan magnitudo gempa bumi	II - 6
Gambar 2.5	Grafik sifat tanah dengan CPT yang dinormalisasi yang diusulkan oleh Robertson dan Campanella (1983)	II - 7
Gambar 2.6	Faktor keamanan terhadap potensi likuifaksi pada kedalaman 1-2 m di Kel Lempuing $M=7,9$ $\alpha_{max}=0,4$ g	II-17
Gambar 3.1	Diagram alir metodologi penelitian	III - 4
Gambar 3.2	Skema penentuan CRR dan CSR	III - 5
Gambar 3.3	Skema prosedur analisis penentuan probabilitas likuifaksi	III - 6
Gambar 4.1	Peta lokasi penelitian	IV - 2
Gambar 4.2	Nilai konus dan jumlah hambatan lekat terhadap kedalaman	IV - 3
Gambar 4.3	Nilai <i>friction ratio</i> terhadap kedalaman	IV - 3
Gambar 4.4	σ_{vc} dan σ'_{vc} di setiap kedalaman pada lokasi titik 3 tes CPT ...	IV - 5
Gambar 4.5	Hasil perhitungan V_s di setiap kedalaman pada titik 3	IV - 6
Gambar 4.6	Nilai r_d di setiap kedalaman pada titik 3 lokasi penelitian	IV - 7
Gambar 4.7	Nilai perhitungan CSR di setiap kedalaman pada titik 3	IV - 8
Gambar 4.8	Nilai perhitungan q_{c1} di setiap kedalaman pada titik 3	IV - 9
Gambar 4.9	Nilai perhitungan q_{c1cs} di setiap kedalaman pada titik 3	IV - 9
Gambar 4.10	Nilai perhitungan $CRR_{M=7,5; \sigma'_{VC}=1 \text{ atm}}$	IV - 10
Gambar 4.11	Nilai perhitungan K_σ di setiap kedalaman	IV - 11
Gambar 4.12	Hasil perhitungan nilai CRR setiap kedalaman	IV - 11
Gambar 4.13	Skema hasil analisis perhitungan CRR dan CSR pada beberapa PBA terhadap kedalaman di lokasi titik 3	IV - 20
Gambar 4.14	Besarnya koefisien variansi persamaan CSR	IV - 21
Gambar 4.15	Besarnya koefisien variansi persamaan CRR	IV - 21

Gambar 4.16 Probabilitas likuifaksi dengan beberapa nilai PBA.....	IV - 22
Gambar 4.17 Perbandingan probabilitas likuifaksi dengan nilai q_c pada PBA yang berbeda	IV - 22
Gambar 4.18 Potensi probabilitas likuifaksi pada berbagai kedalaman dengan nilai CPT	IV – 23
Gambar 4.19 Potensi probabilitas likuifaksi pada berbagai kedalaman dengan besarnya kecepatan geser, V_s	IV – 24
Gambar 4.20 Peta potensi likuifaksi	IV - 25

DAFTAR ISTILAH

No	Istilah	Pengertian
1	Amplifikasi	Nilai faktor perbesaran
2	Batuan dasar	Batuan atau tanah yang lebih keras dan padat di bawah tubuh tanah yang lebih lunak dan tidak terkonsolidasi.
3	Fluktuatif	Perubahan yang tidak teratur
4	Gempa bumi	Peristiwa pelepasan energi yang menyebabkan dislokasi (pergeseran) pada bagian dalam bumi secara tiba-tiba
5	Lempeng	Berbagai luasan area yang terbentuk dari pecahan kerak bumi yang masing-masing memiliki gerakan ke arah tertentu akibat konveksi di dalam bumi (astenosfer)
6	Likuifaksi	Suatu peristiwa dimana tanah berubah dari fase padat menjadi fase cair akibat meningkatnya tekanan air pori dalam rongga tanah
7	Magnitudo	Sebuah besaran yang menyatakan besarnya energi seismik yang dipancarkan oleh sumber gempa
8	<i>partially saturated</i>	Ruang kosong diantara partikel pada tanah (pori) terisi dengan udara dan air, tanah pada kondisi jenuh sebagian
9	<i>Pseudo statis</i>	Perumpamaan dalam bentuk statis
10	<i>saturated</i>	Ruang kosong diantara partikel pada tanah (pori) terisi dengan air semuanya maka dikatakan tanah dalam kondisi jenuh
11	Tanah	Material yang terdiri dari agregat padat yang tidak tersementasi satu sama lainnya dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang kosong diantara partikel tersebut (pori tanah)

No	Istilah	Pengertian
12	Tanah Kering	Tanah yang tidak mengandung air sama sekali atau kadar airnya nol
13	Tanah Lanau	Tanah yang memiliki ukuran partikel dalam rentang 0,074 mm kebawah sampai 0,001 mm yang terbentuk akibat pelapukan batuan
14	Tanah Lempung	Tanah partikel mineral berkerangka dasar silikat yang berdiameter kurang dari 4 mikrometer
15	Tanah Pasir	Bahan mineral yang berbutiran pasir, umumnya berukuran antara 0,0625 sampai 2 milimeter

DAFTAR NOTASI

CPT	= <i>Cone Penetration Test</i> .
CRR	= <i>Cyclic Resistance Ratio</i> .
CSR	= <i>Cyclic Stress Ratio</i> .
$CRR_{\sigma'_{vc}}$	= CRR dari tanah dibawah nilai spesifik dari nilai σ'_{vc} .
$CRR_{\sigma'_{vc}}$	= Nilai CRR dari tanah yang sama dengan $\sigma'_{vc} = 1 \text{ atm}$.
σ_{vc}	= Tekanan vertikal total lapisan tanah saat konsolidasi (kN/m^2).
σ_{vc}'	= Tekanan vertikal efektif dari lapisan tanah saat konsolidasi (kN/m^2).
r_d	= Koefisien reduksi tekanan geser.
α_{\max}	= Percepatan maksimum di permukaan ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$).
z	= Kedalaman dalam meter.
γ	= Berat jenis tanah yang berada di atas kedalaman z (kN/m^3).
q_c	= Tahanan ujung (kN/m^2).
fs	= Hambatan setempat (kN/m^2).
F_R	= <i>Friksi rasio</i> .
C_N	= Faktor koreksi dari nilai CPT.
MSF	= <i>Magnitude scaling factor</i> .
K_σ	= <i>Overburden correction factor</i> .
q_{c1}	= Tahanan ujung konus yang dinormalkan
q_{c1cs}	= Tahanan ujung konus yang dikorelasi mengindikasikan nilai <i>clean sands</i> .
D_r	= Kepadatan relatif.
V_s	= Kecepatan geser (m/s).
V_{s1}	= Kecepatan geser yang sudah dikorelasi dengan nilai q_c (m/s).
FK	= Faktor keamanan
I_c	= Tipe indeks perilaku tanah dari data CPT
Q	= Nilai tidak berdimensi dari koreksi tahanan ujung q_c
PBA	= <i>Peak Base Acceleration</i>
FA	= Faktor Amplifikasi

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Peta Zonasi gempa, Peta rencana pola ruang Kota Bengkulu Tahun 2028 Foto citra Kel. Lempuing.....	L1-1
Lampiran 2	Data pengujian sondir.....	L2-1
Lampiran 3	Hasil perhitungan faktor keamanan semua titik penelitian ...	L3-1
Lampiran 4	Koefisien variansi CSR semua titik penelitian.....	L4-1
Lampiran 5	Koefisien variansi CRR semua titik penelitian.....	L5-1
Lampiran 6	Nilai probabilitas semua titik penelitian.....	L6-1
Lampiran 7	Tabel dan grafik plot banyaknya kejadian gempa selama 40 tahun terakhir di Prov. Bengkulu.....	L7-1
Lampiran 8	Contoh perhitungan manual.....	L8-1

ANALISIS POTENSI LIKUIFAKSI DENGAN METODE PROBABILITAS SEDERHANA BERDASARKAN DATA CONE PENETRATION TEST DI KELURAHAN LEMPUNG, KOTA BENGKULU

INTISARI

Lempung merupakan salah satu daerah pesisir di Kota Bengkulu dengan kondisi tanah dominan berpasir, dan jenuh air sehingga berpotensi terhadap bahaya likuifaksi ketika gempa terjadi. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis besarnya probabilitas likuifaksi Kelurahan Lempung berdasarkan data CPT (sondir), serta menganalisis hubungan antara parameter tanah dan gempa terhadap nilai probabilitas likuifaksi. Analisis ini menggunakan model probabilitas Haldar dan Tang (1979) berdasarkan nilai rasio tahanan siklik dari tanah (CRR), nilai rasio tekanan siklik beban gempa (CSR), serta koefisien variansi nilai CRR dan CSR. Nilai tahanan terhadap beban siklik diperoleh dari hasil pengujian CPT pada 6 titik yang tersebar di Kelurahan Lempung. Sedangkan nilai tekanan siklik (beban gempa) lokasi penelitian diperoleh dari nilai percepatan gempa berdasarkan Peta Zonasi Gempa Indonesia tahun 2010, dan nilai magnitude (M) yang didasarkan pada data riwayat kejadian gempa selama 40 tahun terakhir. Nilai probabilitas pada titik penelitian 1, 4, 5, dan 6 nilai probabilitasnya rata-rata mencapai nilai 100%, tetapi pada titik 2 di kedalaman 2 m dan pada titik 3 di kedalaman 2,4 m nilai probabilitasnya kurang dari 100 % dikarenakan nilai q_c nya lebih besar sehingga menyebabkan nilai probabilitasnya lebih kecil. Hubungan parameter tanah terhadap probabilitas adalah penambahan nilai tahanan ujung konus (q_c) akan berkorelasi dengan meningkatnya nilai CRR. Selanjutnya penambahan nilai CRR menyebabkan penurunan nilai probabilitas likuifaksi. Hubungan parameter gempa terhadap probabilitas adalah Pertambahan nilai PBA akan mengakibatkan bertambah besarnya CSR yang terjadi pada suatu deposit tanah pada kedalaman tertentu, begitu pula dengan magnitude gempa dimana pertambahannya akan mengakibatkan faktor koreksi magnitude yang bersesuaian dengan CSR dari tanah berkurang, Pertambahan salah satu nilai dari kedua variabel ini akan menyebabkan faktor keamanan terhadap bahaya likuifaksi menjadi lebih kecil sehingga mengakibatkan nilai probabilitas likuifaksi bertambah besar.

Kata kunci: Likuifaksi, CPT (sondir), rasio tahanan siklik (CRR), rasio tekanan siklik (CSR), koefisien variansi, probabilitas.

LIQUEFACTION POTENTIAL ANALYSIS BY THE SIMPLE PROBABILITY METHOD BASED ON CONE PENETRATION TEST DATA IN KELURAHAN LEMPUNG, KOTA BENGKULU

ABSTRACT

Lempung is one of the coastal areas in Kota Bengkulu with predominantly saturated sandy soils, so that have the potential for liquefaction when earthquake happened. The purpose of this study is to analyze the probability liquefaction based on CPT data (sondir) of Kelurahan Lempung, and to analyze the relationship between soil and seismic parameters with the probability of liquefaction. This analysis uses Haldar and Tang (1979) probability model based on the value of the cyclic custody ratio (CRR) of the land, the value of the cyclic stress ratio (CSR) of earthquake loads, as well as the coefficient of variance values CRR and CSR. Value of the resistance to cyclic loading test results obtained from the CPT on a 6 point spread in Kelurahan Lempung. While the value of the cyclic stress (seismic load) locations were obtained from the value of the acceleration of the earthquake by Earthquake Zoning Map of Indonesia in 2010, and the value of magnitude (M) which is based on the data history of earthquakes over the last 40 years. Probability value at the point 1, 4, 5, and 6 the average probability value reaches a value of 100%, but at point 2 at a depth of 2 m and at point 3 at a depth of 2.4 m the probability value is less than 100% due to the value of q_c which is larger resulting in smaller probability value. The relationship of soil parameters on the probability is of value detainee conical tip (q_c) will be correlated with the increase in the value of the CRR. Furthermore CRR value causes a decrease in the value of the probability of liquefaction. Relationship to the probability of earthquake parameters are the value added PBA will result in increasing the amount of CSR that occurs at a certain depth of soil deposits on, as well as the earthquake magnitude of increase which will result in the magnitude of the correction factor corresponding to the CSR of the soil is reduced, Added value of the second one This variable will lead to the danger of liquefaction safety factor becomes smaller, resulting in a large value increases the probability of liquefaction.

Keywords: Liquefaction, CPT (sondir), the ratio of cyclic prisoners (CRR), the cyclic stress ratio (CSR), coefficient of variance, the probability

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu fenomena yang sering menyertai ketika peristiwa gempa terjadi adalah likuifaksi. Likuifaksi adalah suatu kejadian dimana tanah mengalami kehilangan kekuatan geser efektif karena meningkatnya tegangan air pori sebagai akibat terjadinya beban siklik (beban gempa) yang sangat cepat dan dalam waktu sesaat (Idriss dan Boulanger, 2008).

Hilangnya kekuatan geser tanah menyebabkan tanah berperilaku seperti material cair (*liquid*), sehingga mengakibatkan hilangnya daya dukung tanah dan ini berarti dapat membahayakan bahkan menghancurkan struktur bangunan yang berada di atasnya. Hancurnya struktur bangunan ini tidak hanya menyebabkan kerugian materi, namun juga dapat mengakibatkan hilangnya jiwa manusia. Likuifaksi biasa terjadi pada kondisi tanah granular (pasir) yang tidak padat dan jenuh air (Idriss dan Boulanger, 2008).

Beberapa metode untuk mengevaluasi potensi likuifaksi telah dikembangkan oleh para ahli geoteknik. Metode yang sudah ada terus dilakukan koreksi dan penyempurnaan guna mendapatkan prosedur sederhana (*simplified prosedure*). Prosedur sederhana (*simplified prosedure*) memudahkan praktisi dalam menganalisis kondisi lapangan akan potensi terjadinya likuifaksi.

Secara garis besar, analisis yang telah dikembangkan dibagi menjadi dua yaitu analisis deterministik dan probabilistik. Dalam analisis deterministik, hasil analisis dan evaluasinya hanya berupa kesimpulan terjadi atau tidak terjadinya likuifaksi yang diinterpretasikan melalui besarnya angka keamanan terhadap bahaya likuifaksi (Arifin, 2002).

Kendala yang dihadapi dalam metode ini adalah sulitnya menentukan besarnya resiko terjadinya likuifaksi. Sementara itu, metode probabilistik bisa digunakan untuk memprediksi seberapa besar probabilitas kemungkinan terburuk akan terjadi di suatu lokasi. Metode ini memungkinkan untuk memperhitungkan

pengaruh faktor-faktor ketidakpastian dalam analisis ukuran, lokasi, dan frekuensi kejadian gempa.

Parameter yang diperlukan dalam evaluasi potensi likuifaksi suatu lokasi adalah parameter beban gempa dan parameter resistensi tanah. Parameter beban gempa diperoleh dari hasil analisis dan riwayat kegempaan lokasi yang ditinjau, sedangkan parameter resistensi tanah dapat diperoleh dari hasil pengujian lapangan maupun laboratorium. Hasil pengujian lapangan yang biasa digunakan dalam analisis potensi likuifaksi adalah data tanah yang diperoleh dari hasil uji sondir CPT dan SPT (*Standard Penetration Test*).

Kota Bengkulu merupakan salah satu kota di pantai barat Pulau Sumatera yang sangat rentan terhadap gempa karena berada pada jalur seismik aktif. Kerentanan ini memungkinkan terjadinya fenomena likuifaksi. Kelurahan Lempuing merupakan wilayah yang berada pada pesisir Kota Bengkulu dengan kondisi tanah dominan berpasir, sehingga memungkinkan terjadinya likuifaksi di daerah ini. Oleh karena itu perlu adanya analisa potensi likuifaksi di Kelurahan Lempuing, Kota Bengkulu (Misliniyati dkk., 2013).

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang dikemukakan di atas, maka permasalahan yang akan diteliti adalah :

1. Bagaimana tingkat probabilitas terhadap bahaya likuifaksi di Kelurahan Lempuing Kota Bengkulu.
2. Bagaimana hubungan parameter tanah terhadap probabilitas likuifaksi.
3. Bagaimana hubungan parameter gempa terhadap probabilitas likuifaksi.

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang yang dikemukakan di atas, tujuan penelitian ini adalah:

1. Menganalisis besar probabilitas likuifaksi Kelurahan Lempuing Kota Bengkulu berdasarkan data CPT.
2. Menganalisis hubungan parameter tanah terhadap probabilitas likuifaksi.

3. Menganalisis hubungan parameter gempa terhadap probabilitas likuifaksi.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah untuk mengevaluasi potensi likuifaksi Kelurahan Lempuing Kota Bengkulu dengan menggunakan prosedur sederhana (*simplified prosedure*) yang didasarkan pada kerangka pendekatan probabilitas sehingga evaluasi dan risikonya dapat dinyatakan dalam suatu nilai.

1.5. Batasan Masalah

Penelitian ini didasarkan pada analisis potensi likuifaksi dengan prosedur sederhana (*simplified prosedure*) dengan berdasarkan data *cone penetration test* (sondir). Adapun ruang lingkup penelitian ini dibatasi sebagai berikut :

1. Pengambilan dan pengolahan data penyelidikan tanah dengan sondir pada beberapa lokasi yang tersebar di Kelurahan Lempuing, Kota Bengkulu sebanyak 6 titik.
2. Penentuan parameter gempa Kota Bengkulu
 - a. Percepatan gempa maksimum di batuan dasar berdasarkan peta zonasi gempa Indonesia tahun 2010.
 - b. Penentuan distribusi *Magnitude* gempa digunakan data riwayat kejadian gempa Kota Bengkulu selama 40 tahun terakhir dengan *Magnitude* terbesar yaitu $M=7,9$.
 - c. Percepatan gempa maksimum di permukaan tanah ditentukan dengan metode *pseudo statis* dengan nilai faktor amplifikasi dari ASCE (07-2010).
3. Mengevaluasi potensi likuifaksi dengan metode probabilistik Haldar dan Tang, 1979.
4. Peta probabilitas likuifaksi pada Kelurahan Lempuing di kedalaman 0-2 m.
5. Nilai berat jenis tanah kondisi jenuh air (γ_{sat}) lokasi penelitian diambil berdasarkan satu nilai saja, yaitu γ_{sat} untuk pasir jenuh air sebesar 20 kN/m^3 . Nilai ini dianggap mewakili semua titik pengujian di lokasi penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Gempa Bumi

Gempa bumi adalah peristiwa bergetarnya bumi akibat pelepasan energi di dalam bumi secara tiba-tiba yang ditandai dengan patahnya lapisan batuan pada kerak bumi. Akumulasi energi penyebab terjadinya gempa bumi dihasilkan dari pergerakan lempeng-lempeng tektonik. Energi yang dihasilkan dipancarkan ke segala arah berupa gelombang gempa bumi sehingga efeknya dirasakan sampai ke permukaan bumi (www.gempabumi.bmkg.html).

Indonesia merupakan daerah rawan gempa bumi karena dilalui oleh jalur pertemuan 3 lempeng tektonik, yaitu: Lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia, dan lempeng Pasifik. Lempeng Indo-Australia bergerak relatif ke arah utara dan menyusup kedalam lempeng Eurasia, sementara lempeng pasifik bergerak relatif ke arah barat. Jalur pertemuan lempeng berada di laut sehingga apabila terjadi gempa bumi besar dengan kedalaman dangkal maka akan berpotensi menimbulkan tsunami sehingga Indonesia juga rawan tsunami (www.gempabumi.bmkg.html).

2.1.1. Riwayat Kegempaan Di Bengkulu

Profil topografi Kota Bengkulu mempunyai bentang alam perbukitan yang bergelombang memanjang sejajar pantai dengan variasi ketinggian mulai dari 0 – 5 meter sampai di atas 50 meter dpl. Di beberapa tempat terdapat ketinggian dengan kedalaman sampai -5 meter dpl atau -10 meter dpl yang ditempati oleh batuan karang, seperti: Pulau Tikus atau Pulau Karang Lebar. Kota Bengkulu dibatasi oleh dataran pantai landai berbentuk tanjung dan teluk di sisi barat, daerah rendah berawa dan selatan. Secara fisik Kota Bengkulu disusun oleh batuan lava andesit yang di atasnya ditutupi endapan breksi gunung api, batu lempung, batu apung, endapan rawa dan batuan alluvium. Dengan kondisi alam tersebut Kota Bengkulu rentan terhadap bahaya alam, seperti: gempa bumi, tanah retak dan amblas, abrasi, longsor, banjir, dan badai laut, sedangkan bahaya tsunami belum pernah tercatat dalam kondisi aktual ([http://badan perencanaan pembangunan](http://badan_perencanaan_pembangunan)

daerah.com (kota / bengkulu.

Gempa bumi sering melanda Bengkulu, pada tanggal 4 Juni 2000 gempa bumi dengan magnitudo 8 menimbulkan bencana paling besar di Bengkulu. Berdasarkan catatan sejarah, bencana gempa juga pernah terjadi pada tahun 1833, 1914, 1940 dan 1980 ([www.Stasiun Klimatologi Bengkulu bmkng.html](http://www.StasiunKlimatologiBengkulu.com)).

Pada tahun 2007 terjadi lagi gempa yang cukup besar di Kota Bengkulu yaitu magnitudo 7,9. Jumlah gempa yang terjadi selama tahun 2007 tercatat sebanyak 61 kali ([www.Stasiun Klimatologi Bengkulu bmkng.html](http://www.StasiunKlimatologiBengkulu.com)).

Letak Kota Bengkulu pada pertemuan lempeng tektonik Samudera Hindia dan lempeng tektonik Asia menyebabkan Kota Bengkulu dalam beberapa tahun terakhir sering dilanda gempa tektonik ([www.Stasiun Klimatologi Bengkulu.com](http://www.StasiunKlimatologiBengkulu.com)). Gambar 2.1 memperlihatkan peta lempeng tektonik. Pada gambar menunjukkan bahwa pulau Sumatera yaitu Bengkulu merupakan daerah pegunungan aktif dan merupakan daerah lempeng tektonik ([www.petalempeng tektonik Indonesia.go.id](http://www.petalempengtektonikIndonesia.go.id)).



Sumber: [www.petalempeng tektonik Indonesia.go.id](http://www.petalempengtektonikIndonesia.go.id)

Gambar 2.1. Peta lempeng tektonik

2.2. Likuifaksi

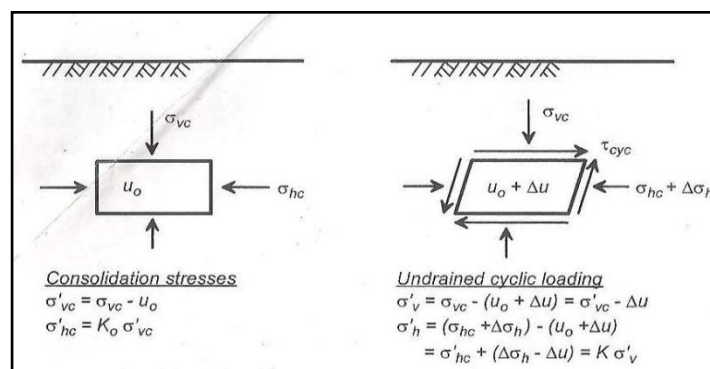
Likuifaksi adalah Suatu proses yang membuat kekuatan tanah menghilang dengan cepat, kekuatan serta daya dukung tanah menurun dikarenakan getaran yang diakibatkan oleh gempa maupun guncangan lainnya (Idriss dan Boulanger, 2008).

Likuifaksi dapat terjadi jika terdapat material lepas berupa pasir dan lanau yang berada di bawah muka air tanah, sehingga ruang pori antar butir terisi oleh

air. Tanah yang terlikuifaksi tidak dapat menahan berat apapun yang berada di atasnya maupun bangunan yang akhirnya mengakibatkan hilangnya daya dukung pada pondasi bangunan (Misliniyati dkk., 2013).

2.3. Kerangka Analisis Korelasi Untuk Mengetahui Analisis Potensi Likuifaksi

Beberapa pendekatan telah diusulkan dalam untuk menganalisis potensi likuifaksi. Pendekatan yang digunakan secara luas adalah pendekatan berbasis tekanan yang membandingkan tekanan siklik yang diinduksi oleh gempa bumi dengan tahanan siklik dari tanah. Tekanan siklik yang diinduksi oleh gempa bumi yang berada di bawah permukaan tanah terutama disebabkan oleh efek guncangan horizontal. Gambar 2.1 secara skematis mengilustrasikan tekanan dan tekanan air pori beraksi pada elemen tanah yang berada di bawah permukaan tanah sebelum dan selama guncangan horizontal dari gempa bumi. Guncangan vertikal dari profil ini akan menghasilkan perubahan tambahan sementara pada tekanan vertikal total, tekanan total horizontal dan tekanan air pori, tetapi tekanan efektif vertikal dan horizontal tidak terpengaruh. Hal ini yang menyebabkan guncangan vertikal tidak disinggung dalam analisis (Idriss dan Boulanger, 2003).



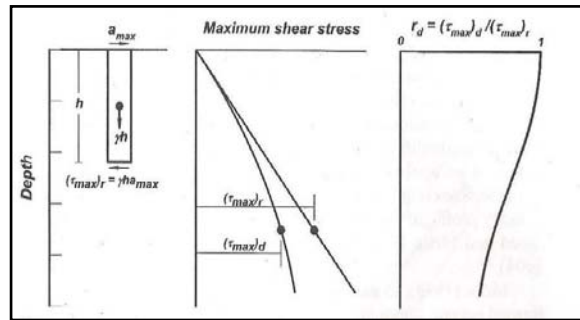
Sumber: Idriss dan Boulanger, 2003

Gambar 2.2 Tekanan siklik pada elemen tanah di bawah permukaan tanah ketika terjadi guncangan horizontal

2.3.1. Perhitungan Tekanan Siklik yang Diinduksi oleh Gempa Bumi

Tekanan geser yang diinduksi pada semua kedalaman lapisan tanah ketika gempa bumi terjadi disebabkan dari propagasi vertikal gelombang geser horizontal. Prosedur analisis tekanan ini bisa dihitung jika karakteristik tanah yang dan *input*

gerakannya diketahui (Idriss dan Boulanger, 2003).



Sumber: Idriss dan Boulanger, 2003

Gambar 2.3. Skema untuk penentuan tekanan geser maksimum, τ_{max} , dan koefisien reduksi tekanan geser, r_d .

Jika kolom tanah yang berada di atas kedalaman z mempunyai sifat kaku (Gambar 2.3.), kemudian tekanan geser maksimum dasar kolom bisa dihitung sebagai hasil dari massanya dan percepatan maksimum horizontal :

$$(\tau_{max})_r = \frac{\gamma \cdot z}{g} \cdot \alpha_{max} = \sigma_v \frac{\alpha_{max}}{g} \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana:

α_{max} adalah percepatan maksimum lapisan tanah.

γ adalah rata – rata berat jenis tanah yang berada di atas kedalaman z .

σ_v adalah tekanan vertikal total pada kedalaman z .

Pada kenyataannya, kolom tanah adalah badan yang bisa berdeformasi, oleh karena itu tekanan geser maksimum akan berbeda dari nilai badan yang kaku dengan percepatan permukaan maksimum yang sama. Tekanan geser maksimum badan tanah yang bisa berdeformasi dapat ditentukan dari analisis respon dinamik, dan hasilnya dibandingkan dengan badan yang kaku seperti pada persamaan berikut:

$$(\tau_{max})_d = r_d \cdot (\tau_{max})_r \dots\dots\dots (2.2)$$

dimana:

r_d adalah koefisien reduksi tekanan geser.

Variasi dari $(\tau_{max})_r$ dan $(\tau_{max})_d$ secara tipikal dapat di lihat pada Gambar 2.3, sehingga nilai dari r_d akan turun dari nilai 1 pada permukaan tanah dan bernilai lebih rendah pada kedalaman yang lebih besar.

Analisis dinamik satu dimensi telah dikembangkan untuk mempermudah mendapatkan r_d . Analisis ini telah memperlihatkan bahwa r_d tergantung pada karakteristik pergerakan gempa bumi (intensitas dan frekuensi), profil gelombang kecepatan pada suatu lokasi, dan dinamik nonlinear dari properti tanah. (Seed dan Idriss 1971, Golesorkhi 1989, Idriss 1999, Cetin dkk. 2004).

Idriss (1999), melanjutkan pekerjaan dari Golesorkhi (1989), melakukan analisis respon pada ratusan parameter r_d yang mendapatkan parameter sebagai fungsi dari kedalaman (z) dan magnitudo gempa (M). Dengan persamaan sebagai berikut:

$$r_d = M \exp(\alpha(z) + \beta(z)) \dots \dots \dots (2.3)$$

$$\alpha(z) = -1,012 - 1,126 \sin \left(\frac{z}{11,73} + 5,133 \right) \dots \dots \dots (2.4)$$

$$\beta(z) = 0,106 + 0,118 \sin \left(\frac{z}{11,28} + 5,142 \right) \dots \dots \dots (2.5)$$

dimana:

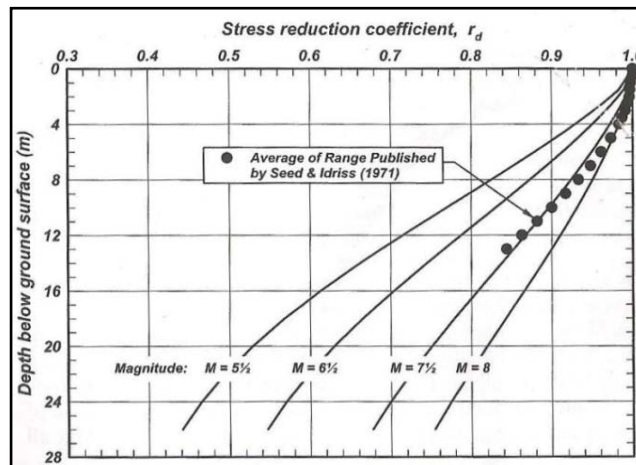
z adalah kedalaman dalam meter.

M adalah momen magnitudo.

α dan β adalah nilai sinus dalam radian.

Persamaan (2.3), (2.4), dan (2.5) secara matematis hanya dapat diaplikasikan pada $z \leq 34$ m.

Gambar 2.4 memperlihatkan plot dari r_d yang dihitung dengan menggunakan magnitudo dengan nilai 5,5; 6,5; 7,5 dan 8. Informasi yang diberikan dari Gambar 2.4 ini adalah rentang rata-rata yang dibandingkan dengan kurva hasil perhitungan yang menggunakan $M=7,5$ pada kedalaman sekitar 14 m.



Sumber: Idriss dan Boulanger, 2003

Gambar 2. 4. Variasi dari koefisien reduksi tekanan r_d dengan kedalaman dan magnitudo gempa bumi

Seed dan Idriss (1971), dalam Yulman (2010), menetapkan tekanan siklik yang diinduksi oleh gempa dimana tekanan ini mempengaruhi potensi likuifaksi adalah sebesar 65% dari puncak tekanan siklik. Hal ini lah yang disebut dengan *Cyclic Stress Ratio* (CSR) yang dirumuskan sebagai berikut :

$$CSR = 0,65 \frac{\tau_{max}}{\sigma'_{vc}} = 0,65 \frac{\sigma_{vc}}{\sigma'_{vc}} \frac{\alpha_{max}}{g} r_d \dots \dots \dots (2.6)$$

dimana:

σ_{max} adalah percepatan maksimum disetiap lapisan (kg/cm^2).

σ_{vc} adalah tekanan vertikal total lapisan tanah saat konsolidasi (kg/cm^2)

σ'_{vc} adalah tekanan vertikal efektif dari lapisan tanah saat konsolidasi (kg/cm^2).

2.3.2. Penyelidikan Lapangan untuk Mengevaluasi Potensi Likuifaksi Berupa Data CPT

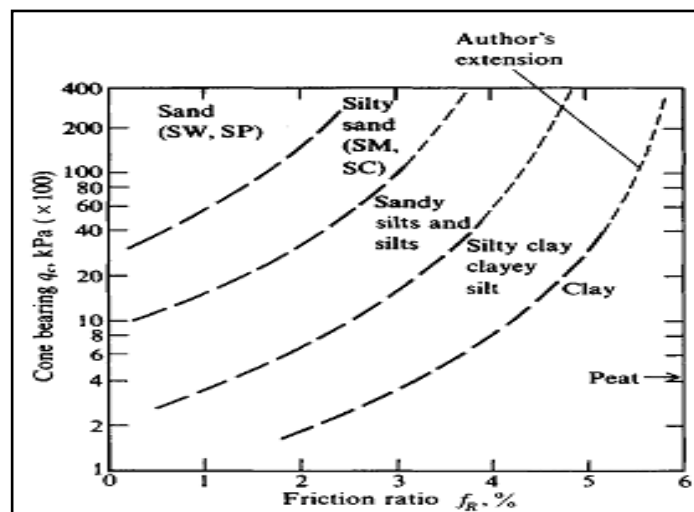
Data hasil tes lapangan berupa CPT atau Sondir dapat digunakan untuk mengevaluasi potensi liquifaksi. CPT memiliki *conical penetrometer* berdiameter 35.7 mm yang akan menekan masuk kedalam tanah dengan laju 2 cm/detik. Ketika itu *transducer* pada alat CPT/Sondir akan mencatat gaya pada ujung konus, gaya tahanan pada bagian selimut yang berada dibelakang ujung konus. Gaya ujung dibagi dengan luas penampang dari penetrometer adalah tahanan ujung (q_{CN}) , dan tahanan gaya selimut dibagi dengan luas permukaan selimut adalah friksi (f_s) . Keuntungan

utama dari sondir ini adalah menyediakan pencatatan data yang terus menerus dari tahanan penetrasi. Kerugiannya adalah sangat sulit untuk mempenetrasi lapisan yang memiliki partikel besar (seperti batuan). Korelasi empiris antara tipe tanah dengan beragam pengukuran sondir telah dikembangkan, seperti terlihat pada Gambar 2.5 yang memperlihatkan bagan empiris yang mengkategorikan tanah ke dalam lima sifat tanah yang berbeda dengan basis nilai dari tahanan ujung konus (q_{CN}),

dimana:

friksi rasio (F) dan σ_{vc} adalah tekanan vertikal total.

f_s adalah tahanan gaya selimut dibagi dengan luas permukaan selimut.



Sumber: Soebowo, 2009

Gambar 2.5. Grafik sifat tanah dengan CPT yang dinormalisasi yang diusulkan oleh Robertson dan Campanella (1983)

untuk menentukan nilai friksi rasio (F) digunakan rumus sebagai berikut:

$$F = \left(\frac{f_s}{q_c - \sigma_{vc}} \right) \cdot 100\% \dots \dots \dots (2.7)$$

2.3.3 Koreksi Overburden pada Tes Lapangan

Tahanan penetrasi CPT pada pasir meningkat dengan kenaikan *confining stress*, dimana nilai q_c dari kedalaman dan lokasi yang berada tidak bisa secara langsung dibandingkan satu sama lainnya. Faktor koreksi dari nilai CPT adalah C_N (Idriss dan Boulanger, 2003).

Kemudian didapat persamaan sebagai berikut

$$q_{Ci} = C_N q_C \dots \dots \dots (2.8)$$

Adapun nilai C_N didapat dengan rumus yang diusulkan oleh Idriss dan Boulanger 2003, yaitu:

$$C_N = \left(\frac{P_a}{\sigma'_{vc}} \right)^{1,338 - 0,249 (q_C)^{0,264}} \leq 1,7 \dots \dots \dots (2.9)$$

2.3.4 Magnitude Scaling Factor (MSF)

Magnitude scaling factor (MSF) digunakan untuk menentukan CSR dan/atau CRR yang menggunakan nilai M yang biasa (secara konvensional diambil $M = 7.5$), karena CRR bergantung pada jumlah beban siklik yang berkorelasi dengan nilai magnitudo (M) (Idriss dan Boulanger, 2003).

Definisi dasar dari MSF adalah :

$$MSF = \frac{CRR_M}{CRR_{M=7,5}} \dots \dots \dots (2.10)$$

Nilai MSF pada nilai M yang berbeda dapat dihitung menggunakan pendekatan yang dipakai oleh Idriss (1999) seperti berikut:

$$MSF = 6,9 \exp \left(\frac{-M}{4} \right) - 0,058 \leq 1,8 \dots \dots \dots (2.11)$$

2.3.5. Overburden Correction Factor, K_σ

Overburden correction factor (K_σ) diperkenalkan oleh Seed (1983) untuk menentukan CSR dan/atau CRR terhadap nilai *effective overburden stress* yang biasa, karena CRR pada pasir bergantung pada *effective overburden stress*. Definisi dari K_σ adalah :

$$K_\sigma = \frac{CRR_{\sigma'_{vc}}}{CRR_{\sigma'_{vc}=1}} \dots \dots \dots (2.12)$$

dimana:

K_σ adalah *overburden correction factor*

$CRR_{\sigma'_{vc}}$ adalah CRR dari tanah dibawah nilai spesifik dari nilai σ'_{vc}

$CRR_{\sigma'_{vc}=1}$ adalah nilai CRR dari tanah yang sama dengan $\sigma'_{vc} = 1 \text{ atm}$

Kebanyakan nilai K_σ didapat dari hasil tes laboratorium. Tetapi hubungan K_σ yang direkomendasikan oleh para ahli yaitu :

$$K_{\sigma} = 1 - C_{\sigma} \ln \left(\frac{\sigma'_{vc}}{P_a} \right) \leq 1,1 \dots \dots \dots (2.13)$$

dimana koefisien C_{σ} didapat dari korelasi dengan *overburden penetration resistance* yang diusulkan oleh Boulanger dan Idris (2004) sebagai berikut :

$$C_{\sigma} = \frac{1}{37,3 - 8,27 (q_{C1})^{0,264}} \leq 0,3 \dots \dots \dots (2.14)$$

Koefisien C_{σ} dibatasi maksimum dengan nilai 0,3 dengan membatasi nilai $q_{C1} \leq 211$.

2.3.6. Korelasi CPT dengan CRR Pada Tanah Pasir

Seperti yang kita ketahui kekuatan dan kekakuan pada tanah berdasarkan tes lapangan didapat dari nilai SPT dan CPT nya. Kekuatan inilah yang akan menghasilkan nilai *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) yang akan dibandingkan dengan *Cyclic Stress Ratio* (CSR) yang berasal dari pergerakan dinamik tanah akibat gempa yang terjadi. Korelasi antara CRR dengan SPT dan CPT yang diusulkan oleh Boulanger (2004) berdasarkan hasil studinya adalah sebagai berikut:

$$CRR_{M=7,5;\sigma'_{vc}=1} = \exp \left\{ \frac{q_{C1cs}}{540} + \left(\frac{q_{C1cs}}{67} \right)^2 - \left(\frac{q_{C1cs}}{80} \right)^3 + \left(\frac{q_{C1cs}}{114} \right)^4 - 3 \right\} \dots \dots \dots (2.15)$$

Pada istilah q_{C1cs} , cs mengindikasikan nilai *clean sands*. Korelasi ini bisa diaplikasikan pada $M=7,5$ dan *effective overburden stress* $\sigma'_{vc} = 1 \text{ atm}$. Korelasi diatas untuk CRR dengan M dan σ'_{vc} yang lain digunakan faktor korelasi dari *Magnitude Scaling Factor* (MSF) dan *overburden correction factor*, K_{σ} (Idriss dan Boulanger, 2003).

Korelasi nilai CRR dengan MSF dapat dilihat dengan persamaan berikut :

$$CRR_{M,\sigma'_{vc}} = CRR_{M=7,5;\sigma'_{vc}=1 \text{ atm}} \cdot \text{MSF} \cdot K_{\sigma} \dots \dots \dots (2.16)$$

Faktor keamanan terhadap pemicu likuifaksi seperti yang telah disebutkan sebelumnya adalah nilai CRR dibandingkan dengan CSR (Idriss dan Boulanger, 2003), seperti rumus berikut :

$$\text{FS} = \frac{CRR_{M;\sigma'_{vc}}}{CSR_{M;\sigma'_{vc}}} \dots \dots \dots (2.17)$$

Untuk mendapatkan nilai q_{C1Ncs} dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$q_{C1cs} = q_{C1} + \Delta q_{C1} \dots \dots \dots (2.18)$$

$$\Delta q_{C1} = \left(5,4 + \frac{q_{C1}}{16} \right) \cdot \exp \left(1,63 + \frac{9,7}{FC+0,01} \left(\frac{15,7}{FC+0,01} \right)^2 \right) \dots\dots\dots (2.19)$$

Nilai FC (*Finest Content*) didapat dari nilai Ic, dimana jika:

Ic < 1,26, maka nilai FC = 0%

1,26 < Ic < 35, maka FC = 1,75 Ic^{3,25} – 3,7

Ic > 35, maka FC = 100

dan Ic di dapat dari :

$$Ic = \{ (3,47 - \log Q)^2 + (\log F + 1,22)^2 \}^{0,5} \dots\dots\dots (2.20)$$

Untuk mendapatkan nilai Q dan F dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$Q = \left(\frac{q_c - \sigma_{vc}}{P_a} \right) \left(\frac{P_a}{\sigma'_{vc}} \right) \dots\dots\dots (2.21)$$

$$F = \frac{f_s}{q_c - \sigma_{vc}} 100\% \dots\dots\dots (2.22)$$

2.3.7. Perambatan Gelombang Gempa Dari Batuan Dasar Ke Permukaan

Pada saat terjadi gempa dihasilkan beberapa tipe gelombang seismik: gelombang badan dan gelombang permukaan. Ada dua tipe gelombang badan, yang bisa berjalan melalui bagian dalam dari bumi, : *p-waves* dan *s-waves*.

P-waves, dikenal sebagai gelombang primer, tekan, atau longitudinal, akan melakukan tekanan secara berturut – turut sehingga akan terjadi penghalusan pada material. Mereka analog dengan gelombang suara. Sementara Gelombang S, juga dikenal gelombang sekunder, geser atau transversal adalah gelombang yang bergerak tegak lurus terhadap arah gaya gempa. Gelombang inilah dimana terjadinya perambatan gelombang dari dasar batuan sampai ke permukaan. Gelombang ini menyebabkan tanah mengalami deformasi searah pergerakan gempa dan tegak lurus terhadap gelombang sekunder. Deformasi tanah di tiap lapisan berbeda-beda tergantung pada kekakuan tanah, modulus geser dan kecepatan gelombang gesernya. Pada Penelitian ini dipakai korelasi antara nilai CPT (sondir) dengan V_s yang diusulkan oleh Robertson berdasarkan hasil data penyelidikan 100 profil CPT di California dikombinasikan dengan beberapa data yang dipublikasikan hasilnya adalah kecepatan geser yang dinormalkan V_{s1} (Idriss dan Boulanger, 2003).

$$V_{s1} = V_s \left(\frac{P_a}{\sigma'_{vc}} \right)^{0,25} \dots\dots\dots (2.23)$$

$$V_s = \sqrt{\alpha_s \left(\frac{q_c - \sigma_{vc}}{P_a} \right)} \dots\dots\dots(2.24)$$

$$\alpha_s = 10^{(0,55.I_c + 1,68)} \dots\dots\dots(2.25)$$

2.3.8. Faktor Amplifikasi

Faktor amplifikasi yang dipakai adalah dari *American Society of Civil Engineers (ASCE)* tahun 2010 digunakan untuk mengetahui jenis tanah pada jenis tanah tertentu.

Tabel 2.1. Klasifikasi Site didasarkan atas korelasi penyelidikan tanah lapangan dan laboratorium (SNI-2002, UBC-97, IBC-2009, ASCE 7-10)

Klasifikasi <i>site</i>		\bar{V} , (m/dt)	\bar{N}	\bar{S}_u (kPa)
A	Batuan Keras	$\bar{V} \geq 1500$	N/A	N/A
B	Batuan	$750 < \bar{V} \leq 1500$	N/A	N/A
C	Tanah Sangat Padat dan Batuan Lunak	$350 < \bar{V} \leq 750$	$\bar{N} > 50$	$\bar{S}_u \geq 100$
D	Tanah Sedang	$175 < \bar{V} \leq 350$	$15 \leq \bar{N} \leq 50$	$50 \leq \bar{S}_u \leq 100$
E	Tanah Lunak	$\bar{V} < 175$	$\bar{N} < 15$	$\bar{S}_u \leq 50$

Sumber: Peta Hazard Gempa Indonesia 2010 (Kementerian Pekerjaan Umum, 2010)

Tabel 2.2 menampilkan besarnya faktor amplifikasi dari percepatan gempa yang merambat dari batuan dasar ke permukaan sesuai dengan karakteristik jenis tanah permukaan.

Tabel 2.2 Faktor amplifikasi (ASCE 7-10)

Klasifikasi Site	S_{PGA}				
	$PGA \leq 0,1$	$PGA=0,2$	$PGA=0,3$	$PGA=0,4$	$PGA \geq 0,5$
Batuan Keras (S_A)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Batuan (S_B)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tanah Sangat Padat dan Batuan Lunak (S_C)	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
Tanah Sedang (S_D)	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
Tanah Lunak (S_E)	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9

Sumber: Peta Hazard Gempa Indonesia 2010 (Kementerian Pekerjaan Umum, 2010)

2.3.9. Penentuan Nilai Percepatan Gempa di Permukaan Tanah

Penentuan nilai percepatan gempa di permukaan tanah persamaan yang digunakan adalah:

$$a_{\max \text{ permukaan}} = F_a \cdot PBA \dots \dots \dots (2.26)$$

2.4. Evaluasi dengan Model Probabilitas

Evaluasi sebelumnya adalah dengan menggunakan metode deterministik. Hasil evaluasi deterministik ini hanya mengetahui terjadi dan tidak terjadinya likuifaksi. Metode probabilitas ini dapat memberikan gambaran tentang berapa besar resiko likuifaksi itu dapat terjadi.

Beberapa peneliti telah mencoba mengajukan analisis perhitungan evaluasi likuifaksi dengan menggunakan model probabilitas antara lain model probabilitas Haldar dan Tang, Chern dan Fu, serta Kavanjian et.al (Arifin, 2002).

2.4.1. Evaluasi dengan Model Probabilitas Haldar dan Tang (1979)

Menurut Arifin (2002), beberapa peneliti telah mencoba mengajukan analisis perhitungan evaluasi potensi likuifaksi dengan model probabilitas. Salah satu model probabilitas yang digunakan dalam evaluasi potensi likuifaksi adalah model probabilitas yang dikembangkan oleh Haldar dan Tang (1979). Model ini didasarkan pada prosedur *simplified* Seed dan Idriss (1971) dimana parameternya dianggap sebagai variabel acak dan menggunakan pendekatan *first order* (pendekatan linier).

Dari persamaan *simplified* dibuat hubungan sebagai berikut :

$$\left(\frac{\tau_R}{\sigma'_{v. Dr}} \right)_{lap} = Cr. \left(\frac{\sigma_{de}}{\sigma_{a..Dr}} \right)_{lab} \dots\dots\dots(2.27)$$

dan selanjutnya mengambil :

$$R = \left(\frac{\sigma_{de}}{\sigma_{a..Dr}} \right)_{lab} \dots\dots\dots(2.28)$$

dan dengan menghilangkan sub cript “lab” maka *shear strength ratio* dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\tau_R = Cr. R. \sigma' . D. \dots\dots\dots(2.29)$$

Dengan menggunakan asumsi bahwa persamaan itu mengandung berbagai variasi penyerderhanan dan pendekatan empiris maka persamaan itu hanyalah estimasi dari shear resistense dari tanah, karena itu dibutuhkan faktor koresi N_f (Arifin,2002).

yang dapat dituliskan sebagai berikut ;

$$\tau_R = N_f . \hat{\tau}_R \dots\dots\dots(2.30)$$

dimana:

$\hat{\tau}_R$ adalah prediksi model.

τ_R adalah sebagaimana didefinisikan sebelumnya

N_f adalah variabel random dengan mean \bar{N}_f dan koefisen variasi COV Ω_f , yang menggambarkan *modelling error*, dengan menggunakan asumsi *statistical independence* dari parameter pada persamaan (1) maka mean dan COV dituliskan sebagai :

$$\bar{\tau}_R = \bar{N}_f . \bar{C}r . \bar{R} . \bar{\sigma}'_{v.} . \bar{D}r \dots\dots\dots(2.31)$$

$$\Omega_{\tau_R}^2 = \Omega_{N_f}^2 + \Omega_{Cr}^2 + \Omega_R^2 + \Omega_{\sigma'_{v.}}^2 + \Omega_{Dr}^2 \dots\dots\dots(2.32)$$

dimana *symbol* \bar{X} dan Ω_X adalah mean dan COV dari variabel random. Identik dengan persamaan *shear stress ratio* dengan mengganti konstanta 0.65 dengan S_L , maka mean dan COV dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\bar{\tau}_A = \bar{S}_L \cdot \bar{r}_d \cdot \bar{\gamma}_s \cdot h \frac{\bar{a}_{max}}{g} \dots\dots\dots(2.33)$$

$$\Omega_{\tau_A}^2 = \Omega_{r_d}^2 + \Omega_{\gamma_s}^2 + \Omega_{a_{max}}^2 \dots\dots\dots(2.34)$$

dimana nilai g , S_L dan h dianggap konstan dan r_d , γ_s dan a_{max} dianggap bebas secara statistik. Dimana probabilitas terjadinya liquifaksi didefinisikan sebagai probabilitas kejadian dari yang mana probabilitas kejadian dari $(\tau_R \leq \tau_A)$ yang mana probabilitasnya mengikuti log normal distribusi yang dirumuskan sebagai berikut :

$$P_f = P(\tau_R \leq \tau_A) = 1 - \Phi \left\{ \frac{\ln \left(\frac{\tau'_R}{\tau'_A} \sqrt{\frac{1 + \Omega_{\tau_R}^2}{1 + \Omega_{\tau_A}^2}} \right)}{\sqrt{\ln[(1 + \Omega_{\tau_R}^2) \cdot (1 + \Omega_{\tau_A}^2)]}} \right\} \dots\dots\dots(2.35)$$

dimana:

Φ adalah standard normal kumulatif distribusi fungsi.

2.4.2 Evaluasi dengan Model Probabilitas Chern dan Fu (1986)

Satu faktor yang ditambahkan oleh Chern dan Fu, 1986 terhadap model yang dibuat oleh Haldar dan Tang adalah faktor *over consolidated ratio* (OCR) dan menggunakan pendekatan persamaan nonlinier untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat. Modifikasi persamaan yang diajukan adalah untuk

$$\hat{R} = E \left(R \square N_1, D_{50} \right) \dots\dots\dots(2.36)$$

dimana

$$\text{Var} (D_{50}) = \Omega^2 D_{50} \cdot D^2 50 \dots\dots\dots(2.37)$$

$$\text{Var}(N_1) = \Omega^2 N_1 \square M [E(N_1 \square M)]^2 + \text{Var}(M) (dM/dN_1)^2 \dots\dots\dots(2.38)$$

dimana Haldar dan Tang mendapatkan bahwa $\Omega D50 = 0,12$ dan jika magnitudo gempa diketahui maka $\text{Var} (M) = 0$ sehingga

$$\text{Var} (N_1) = \Omega^2 N_1 M [E (N_1 M)]^2 \dots \dots \dots (2.39)$$

2.4.3 Evaluasi dengan Model Probabilitas Kavazanjian et. al (1983)

Pada tahun 1983, Kavazanjian et. al melakukan evaluasi potensial likuifaksi untuk kota San Fransisco dengan menggunakan analisis probabilitas. Adapun metodologi yang digunakan sebagai berikut :

Analisis ini dimulai dengan mengevaluasi parameter intensitas beban gempa dalam *Root Mean Square* (RMS) dari riwayat waktu *shear stress* (rs) yang normalisir terhadap tekanan efektif overbuden

RMS dari shear stress (rs), dihubungkan dengan RMS dari percepatan gempa dipermukaan, (r_a) melalui *total stress* (σ_0) dan faktor reduksi fleksibilitas, (F) :

$$rs = f. r_a. \sigma_0 \dots \dots \dots (2.40)$$

Normalisir terhadap tekanan efektif overbuden, maka RMS dari *cyclic shear stress ratio* menjadi

$$rs = f. r_a. \sigma_0 / \sigma'_0 \dots \dots \dots (2.41)$$

yang mana σ'_0 = Vertikal efektif stress, faktor fleksibilitas

$$f = 1 - 0,01 z \dots \dots \dots (2.42)$$

dimana: z adalah kedalaman (m)

untuk menghitung probabilitas likuifaksi dengan *spesific desain*, maka probabilitas likuifaksi diturunkan dengan menggunakan persamaan probabilitas Chameau untuk *pore pressure* model. Kemudian dihitung *zero crossing* dengan persamaan

$$P(L) = P(R=1) = \int_0^n P(R=1 - rs, n). FN.(n - rs).dn \dots \dots \dots (2.43)$$

Yang mana $P(R=1)$ = Probabilitas tercapainya *pore pressure ratio* sama dengan satu. $P(R=1 \leq r_s, n)$ = Probabilitas bersyarat dari likuifaksi yang memberikan, jumlah siklus pembebanan dari r_s , *root mean square* FN ($n \leq r_s$) didefinisikan sebagai intensitas yang diharapkan dari guncangan dipermukaan akibat percepatan gempa

$$P(L \leq r_a) = W [P(L \leq r_a, M < 6,25)] + (1-W) [P(L \leq r_a, M > 6,25)] \dots \dots \dots (2.44)$$

$$W = \frac{P(RMS > r_a \mid M < 6,25)}{P(RMS > r_a)} \dots \dots \dots (2.45)$$

dimana W adalah perbandingan probabilitas r_a dari magnitude lebih kecil dari 6,25 terhadap probabilitas r_a dari semua magnitude gempa.

2.5 Hasil Penelitian Terkait

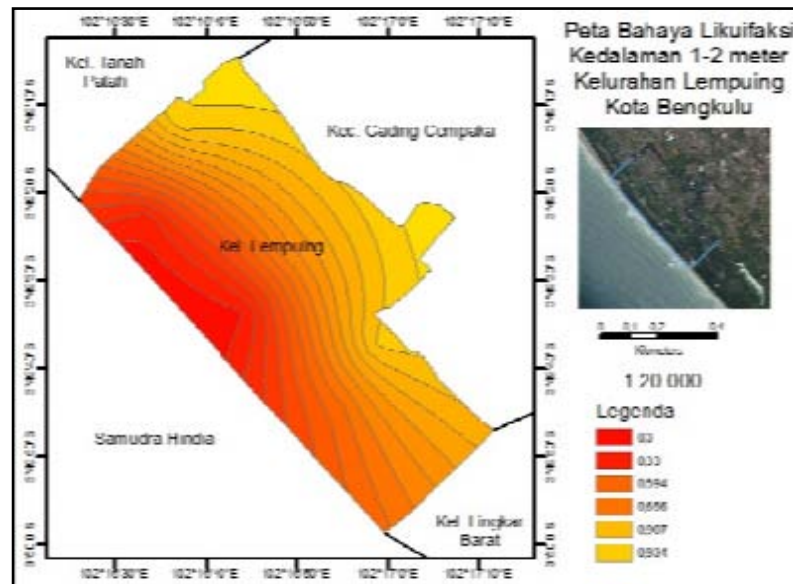
2.5.1. Penelitian Arifin (2002)

Penelitian Arifin menyajikan metodologi analisis probabilitas dari persamaan *simplified* yang direkomendasikan NCEER (*National Centre for Earthquake Engineering Research*, 1998) dengan menggunakan model probabilitas persamaan orde pertama dari Haldar-Tang (1979). Hasil analisis dinyatakan dengan besarnya probabilitas likuifaksi yang mengandung pengertian probabilitas *Cyclic Shear Strength Ratio* (CRR) lebih kecil atau sama dengan *Cyclic Shear Stress Ratio* (CSR), dimana penyebaran variabelnya dinyatakan dengan koefisien variansi.

2.5.2. Penelitian Misliniyati dkk., (2013)

Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis potensi likuifaksi dengan metode deterministik di daerah Kelurahan Lempuing yang digambarkan dalam peta bahaya likuifaksi. Analisis ini menggunakan metode deterministik yang membandingkan antara rasio tahanan siklik dari tanah (CRR) dengan rasio tekanan siklik (CSR) yang disebabkan oleh gempa bumi. Rasio tekanan siklik (CSR) tergantung pada kedalaman lapisan tanah, tekanan vertikal total, tekanan vertikal

efektif, magnitudo gempa yang terjadi dan percepatan maksimum di setiap lapisan tanah tersebut. Rasio tahanan siklik (CRR) didapat dari korelasi empiris dengan hasil tes CPT. Dilihat dari hasil tes CPT jenis tanah di Kelurahan Lempuing adalah jenis pasir lepas. Berdasarkan parameter gempa bumi dan data uji CPT di 6 titik menunjukan Kelurahan Lempuing berada pada kategori potensi likuifaksi tinggi dengan nilai faktor keamanan kurang dari 1. Hasil dari penelitian Misliniyati dkk., bisa dilihat pada Gambar 2.6



Gambar 2.6. Faktor keamanan terhadap potensi likuifaksi pada kedalaman 1-2 m di Kel Lempuing $M=7,9$ $\alpha_{\max}=0,4$ g (Misliiyati dkk., 2013)

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Gambaran Umum Penelitian

Penentuan jenis tanah pada setiap lapisan caranya menggunakan data dari tes CPT yang akan digunakan grafik korelasi antara Friction Ratio dengan tahanan ujung CPT (Sondir) dari Robertson dan Campanella (1983), yang dapat dilihat pada Gambar (2.5). Kemudian mencari perhitungan untuk mendapatkan nilai *Cyclic Stress Ratio* (CSR), nilai *Cyclic Resistance Ratio* (CRR), probabilitas likuifaksi dengan model probabilitas Haldar dan Tang (1979), dan yang terakhir menganalisis hubungan parameter tanah dan parameter gempa terhadap probabilitas likuifaksi. Pada tahapan ini akan dilakukan analisis hubungan antara parameter tanah yang menggambarkan tahanan terhadap bahaya likuifaksi dan kekuatan gempa sebagai parameter beban dengan besarnya probabilitas likuifaksi yang terjadi.

3.2. Lokasi Penelitian

Dalam penelitian ini digunakan data sekunder berupa data tanah dari hasil tes CPT diambil dari enam lokasi yang tersebar di Kelurahan Lempuing, Kecamatan Ratu Samban, Kota Bengkulu.

3.3. Pengambilan Data Penelitian

Metode pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan dengan pengumpulan data sekunder berupa:

1. Data tanah hasil tes CPT (sondir) pada lokasi Penelitian yang diperoleh dari Misliniyati dan Muktadir (2013).
2. Peta zonasi gempa Indonesia tahun, 2010, dari Kementrian PU, 2010.
3. Studi literatur terhadap beberapa penelitian yang berhubungan dengan evaluasi potensi likuifaksi.

3.4. Analisis Pengolahan Data

Dalam penelitian ini dilakukan analisis potensi likuifaksi dengan metode probabilistik prosedur sederhana (*simplified procedure*) berdasarkan data uji sondir. Adapun tahapan dan cara yang akan dilakukan dalam analisis ini adalah sebagai berikut :

3.4.1. Penentuan Jenis Tanah di setiap Lapisan.

Untuk penentuan jenis tanah dari tes CPT digunakan grafik korelasi antara *Friction Ratio* dengan tahanan ujung CPT (sondir) dari Robertson dan Campanella (1983) yang dapat dilihat pada Gambar (5).

3.4.2. Perhitungan Nilai *Cyclic Stress Ratio* (CSR) setiap Lapisan Tanah.

Tahapan yang dilakukan dalam perhitungan nilai *Cyclic Stress Ratio* (CSR) adalah :

- Menghitung nilai tekanan vertikal total (σ_{vc}) dan tekanan vertikal efektif tanah (σ'_{vc}) setiap lapisan.
- Menghitung Vs setiap lapisan dari korelasi data CPT dengan Persamaan 2.23 sampai dengan Persamaan 2.25.
- Menentukan percepatan maksimum (a_{max}) di permukaan dengan faktor amplifikasi yang dipublikasikan oleh ASCE (7-10) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.1 dan Tabel 2.2.
- Menghitung nilai koefisien reduksi tekanan geser (r_d) setiap lapisan tanah.

3.4.3. Perhitungan Nilai *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) setiap Lapisan Tanah.

Perhitungan nilai *Cyclic Resistance Ratio* CRR disetiap lapisan tanah dilakukan dengan langkah sebagai berikut:

- Menghitung q_{CI} setiap lapisan tanah dengan Persamaan 2.8.
- Menghitung q_{CIcs} setiap lapisan tanah dengan Persamaan 2.18.
- Menghitung nilai *Magnitude Scaling Factor* (MSF) dengan Persamaan 2.10 dan 2.11.
- Menghitung nilai Overburden Correction Factor (K_σ) setiap lapisan tanah dengan Persamaan 2.12 dan 2.13.
- Menghitung nilai $CRR_{M=7,5;\sigma'_{vc}=1}$ setiap lapisan tanah dengan Persamaan 2.15 dan 2.16.

3.4.4. Perhitungan Probabilitas Likuifaksi

Besarnya probabilitas likuifaksi dalam evaluasi ini ditentukan dengan model probabilitas Haldar dan Tang (1979). Model probabilitas yang digunakan adalah model yang menganggap bahwa parameter CSR dan CRR mengikuti distribusi log normal, dimana probabilitas bersyarat yang digunakan adalah $P(CRR \leq CSR)$, dengan $\Phi(\beta)$ standar normal kumulatif distribusi fungsi dan (Ω) koefisien variansi yang merupakan parameter statistik tanpa dimensi. Pemilihan ini didasarkan bahwa pada metode Haldar dan Tang, perhitungannya lebih kompleks dibandingkan dengan metode probabilitas lain, sehingga perhitungannya menunjukkan hasil yang lebih akurat (Arifin, 2002).

$$P_f = P(CRR \leq CSR) = 1 - \Phi(\beta) = 1 - \Phi \left\{ \frac{\ln \left(\frac{CRR \sqrt{1 + \Omega^2 CSR}}{CSR \sqrt{1 + \Omega^2 CRR}} \right)}{\sqrt{\ln(1 + \Omega^2 CRR)(1 + \Omega^2 CSR)}} \right\} \dots\dots\dots(2.35)$$

dimana:

β adalah indeks keandalan

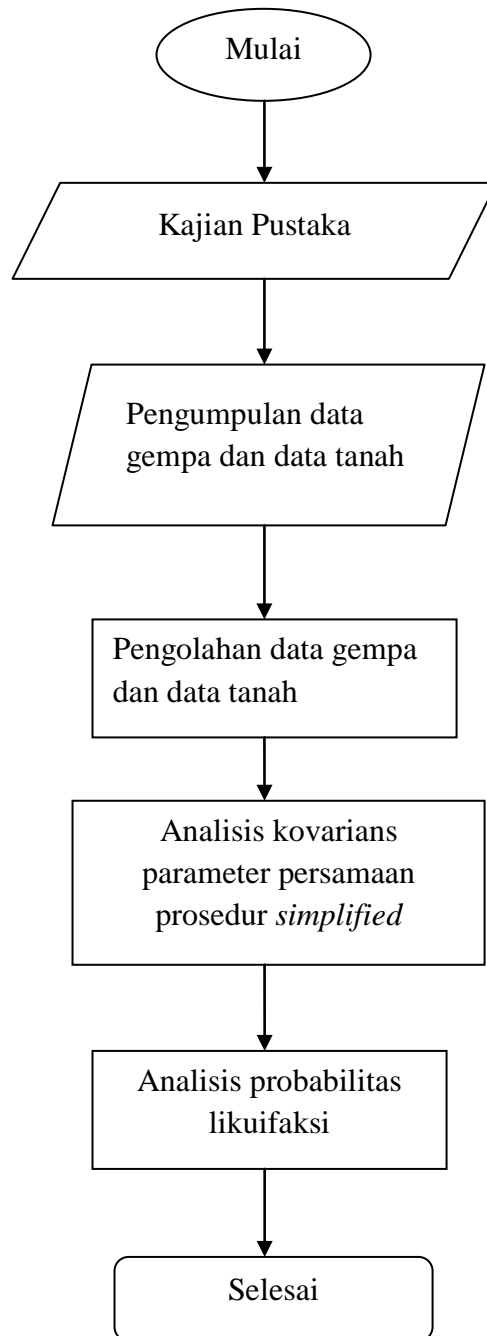
$\Phi(\beta)$ adalah standar normal kumulatif distribusi fungsi

Ω_{CSR} dan Ω_{CRR} adalah koefisien variansi dari CSR dan CRR

3.4.5. Analisis Hubungan Parameter Tanah dan Parameter Gempa terhadap Probabilitas Likuifaksi

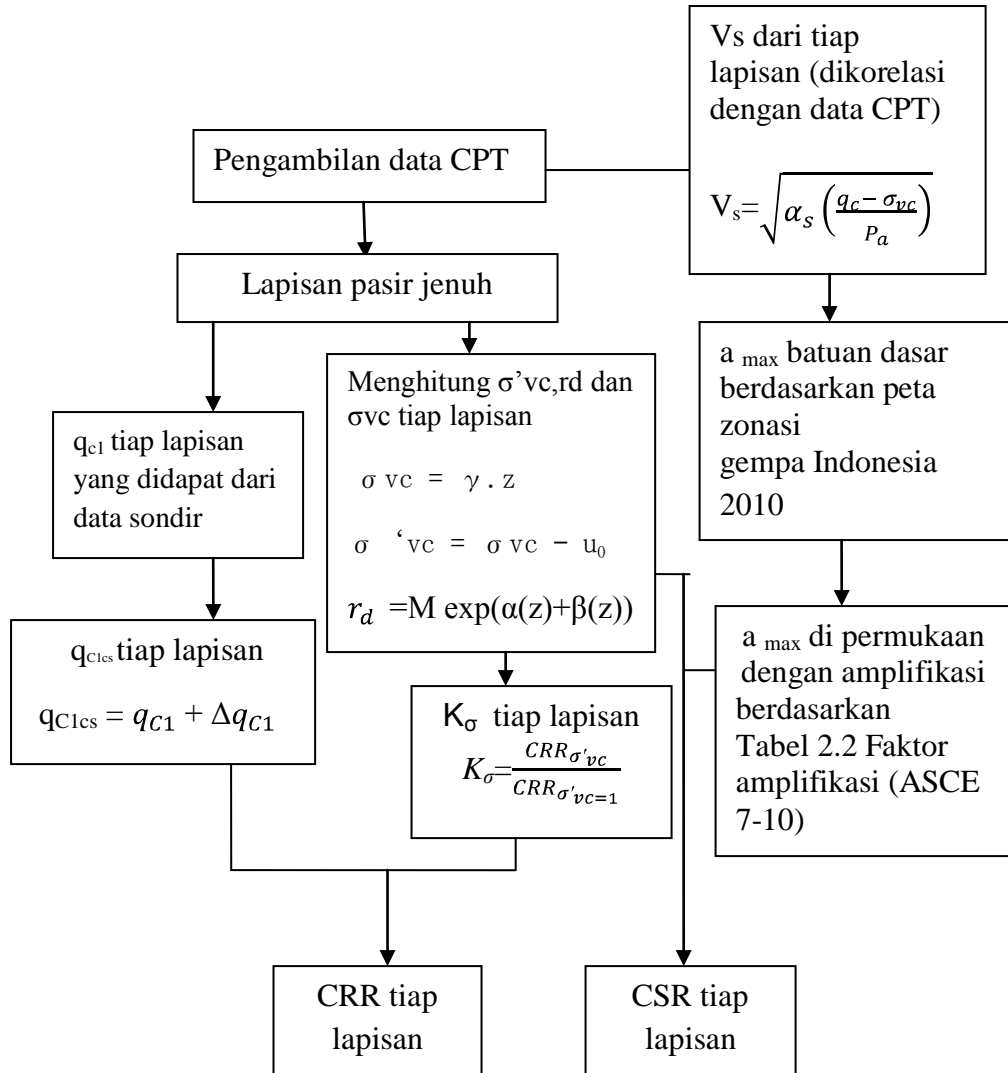
Pada tahapan ini akan dilakukan analisis hubungan antara parameter tanah yang menggambarkan tahanan terhadap bahaya likuifaksi dan kekuatan gempa sebagai parameter beban dengan besarnya probabilitas likuifaksi yang terjadi. Hasil analisis ini akan ditampilkan dalam bentuk grafik yang menggambarkan bagaimana karakteristik hubungan yang terbentuk.

3.5 Bagan Alir Penelitian



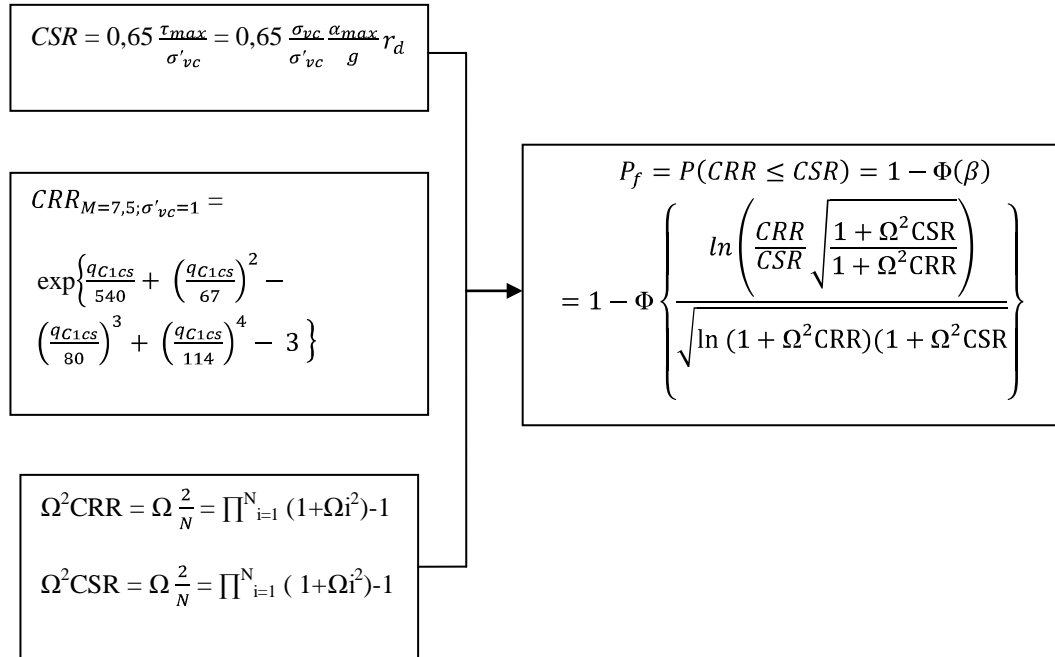
Gambar 3.1 Diagram alir metodologi penelitian

3.6 Skema Penentuan CRR dan CSR



Gambar 3.2 Skema penentuan CRR dan CSR

3.7 Skema Prosedur Analisis Penentuan Probabilitas Likuifaksi



Gambar 3.3 Skema prosedur analisis penentuan probabilitas likuifaksi